Ein Mikrosklerometer zur Härtebestimmung.

Von

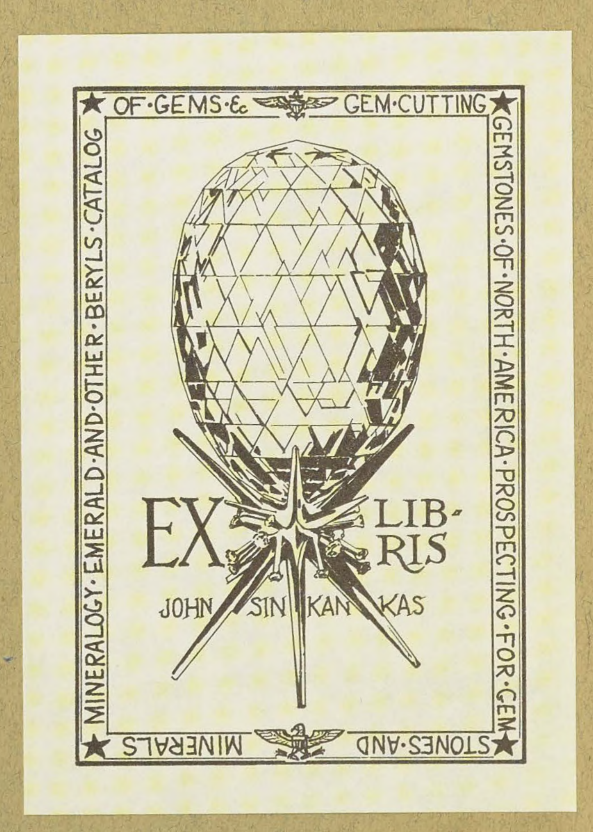
T. A. Jaggar jr.
in Cambridge, Mass.

Hierzu Tafel IV und V.

(Separat-Abdruck aus: »Zeitschrift für Krystallographie etc.« XXIX. Band, 3. Heft.)

Leipzig
Wilhelm Engelmann
1898.





OF·GEMS·&c GEM·CUTTING
GEMSTONES·OF·NORTH·AMERICA·PROSPECTING·FOR·GEM
STONES·AND MINERALS
MINERALOGY·EMERALD·AND·OTHER·BERYLS·CATALOG
EX LIB-RIS
JOHN SIN KAN KAS

XVII. Ein Mikrosklerometer zur Härtebestimmung[1]).

Von

T. A. Jaggar jr. in Cambridge, Mass.

(Hierzu Tafel IV und V.)

Einleitung: Definition der „Härte".

Die Härte eines Minerals oder Metalles wurde durch folgende Methoden festgestellt:

Abnutzungsmethoden:

Ritzen mit der Hand (Werner, Hauy, Mohs, Breithaupt, Cohen[2]) etc.).

Das Mineral wird unter einer Spitze hingezogen:

a) Härte proportional dem Gewicht, welches auf die Spitze wirkt (Seebeck, Franz, Grailich und Pekarek[3]), Exner[4])).

b) Härte umgekehrt proportional dem Gewicht, welches das Mineral zieht (Grailich und Pekarek).

c) Härte proportional der Anzahl der Abnutzungsbewegungen (Grailich und Pekarek).

Eine Spitze wird über das Mineral hingezogen:

a) Härte umgekehrt proportional dem Gewicht, das die Spitze zieht (Franz).

---

1) Diese Untersuchung wurde im petrographischen Laboratorium der Harvard-Universität Cambridge, Mass., U. S. A., ausgeführt. Der Verf. ist den Herren Prof. Dr J. E. Wolff und V. Goldschmidt und den Herren Dr. Charles Palache und L. W. Page für ihren Rath und ihre Unterstützung sehr verpflichtet. Für die bewundernswerthe Ausführung des Instrumentes, wie auch für viele schätzenswerthe Winke spreche ich Herrn Sven Nelson in Cambridge meinen Dank aus, dessen Fertigkeit als Mechaniker meine Worte nicht gerecht zu werden vermögen.

2) Rosenbusch, Mikroskopische Physiographie **1**, 258.

3) Sitzungsber. d. k. k. Akad. Wien 1854, **13**. (Vollständige Ausgabe früherer Veröffentlichungen.)

4) Preisschrift, Wien 1873.

Compliments of
T. A. JAGGAR, JR.,
Geological Laboratory,
Harvard University,
CAMBRIDGE, MASS., U. S. A.

ional dem Gewicht, welches auf die Spitze wirkt

rmalschneide:
tional der Tiefe der Furche (Pfaff[2]).
rmalspitze:
tional der Anzahl der Drehungen (Pfaff[3]).
Normalpulver:
ehrt proportional der zum Poliren erforderlichen
ns[4]).
ehrt proportional dem Volumverlust (Rosiwal[5]).
kehrt proportional dem relativen Verluste von
eichzeitig geschliffenen Substanzen (Jannettaz
rg[6]).

inse auf eine Platte derselben Substanz:
rtional dem Grenzwerthe des Druckes für die
Oberfläche (Hertz[7]).
rtional demselben Werthe multiplicirt mit der
l des Krümmungsradius (Auerbach[8]).
die Oberfläche gepresst:
rtional dem Gewicht, welches nothwendig ist, um
nte Tiefe zu erreichen (Calvert und Johnson[9]),

kehrt porportional dem Volumen des Eindruckes
ance Tests[11]).
elle zeigt eine grosse Verschiedenheit in den
n einer Substanz einer dauernden Deformation
stand messen sollen: sie alle sind unter vier
lche als Maass einer solchen Deformation benutzt

ingham 1886, 5.

2) Sitzungsber. d. k. b. Akad. d. Wiss. München 1883, 55, 372; ref. diese Zeitschr. 1885, **10**, 528.

3) Sitzungsber. d. phys.-med. Soc. Erlangen, Juli 1883. Sitzungsber. d. math.-phys. Kl. d. k. b. Akad. d. Wiss. München 1884, 255; ref. diese Zeitschr. 1885, **10**, 531.

4) Anleitung z. mikrochem. Analyse 1895.

5) Verhandl. d. k. k. geol. Reichsanst. 1896, **17**, 475.

6) Assoc. franç. p. l'avanc. d. sc. 9. Aug. 1895; ref. diese Zeitschr. 1897, **28**, 103.

7) Verhandl. d. Berl. phys. Gesellsch. 1882, 67. Ges. Werke **1**, 174.

8) Wied. Ann. 1891, **43**, 61—100; 1892, **45**, 277—291; 1896, **58**, 357. Ref. diese Zeitschr. **22**, 170; **23**, 619.

9) Phil. Mag. **17**, 114. 10) Chem. News 1873, **27**.

11) Report of experiments on metal for cannon U. S. Ordnance Dep. 1856.

XVII. Ein Mikrosklerometer zur]

Von

T. A. Jaggar jr. in Cambrid

(Hierzu Tafel IV und V.)

Einleitung: Definition der

Die Härte eines Minerals oder Metalles
thoden festgestellt:

Abnutzungsmethoden:

Ritzen mit der Hand (Werner, Hau
Cohen[2]) etc.).

Das Mineral wird unter einer Spitze hing

a) Härte proportional dem Gewicht, w
(Seebeck, Franz, Grailich und

b) Härte umgekehrt proportional de
Mineral zieht (Grailich und Peka

c) Härte proportional der Anzahl de
(Grailich und Pekarek).

Eine Spitze wird über das Mineral hingez

a) Härte umgekehrt proportional de
zieht (Franz).

---

1) Diese Untersuchung wurde im petrographischen Laboratorium der Harvard-Universität Cambridge, Mass., U. S. A., ausgeführt. Der Verf. ist den Herren Prof. Dr J. E. Wolff und V. Goldschmidt und den Herren Dr. Charles Palache und L. W. Page für ihren Rath und ihre Unterstützung sehr verpflichtet. Für die bewundernswerthe Ausführung des Instrumentes, wie auch für viele schätzenswerthe Winke spreche ich Herrn Sven Nelson in Cambridge meinen Dank aus, dessen Fertigkeit als Mechaniker meine Worte nicht gerecht zu werden vermögen.

2) Rosenbusch, Mikroskopische Physiographie **1**, 258.

3) Sitzungsber. d. k. k. Akad. Wien 1854, **13**. (Vollständige Ausgabe früherer Veröffentlichungen.)

4) Preisschrift, Wien 1873.

b) Härte proportional dem Gewicht, welches auf die Spitze wirkt (Turner[1]).

Hobeln mit einer Normalschneide:

Härte proportional der Tiefe der Furche (Pfaff[2]).

Bohren mit einer Normalspitze:

Härte proportional der Anzahl der Drehungen (Pfaff[3]).

Schleifen mit einem Normalpulver:

a) Härte umgekehrt proportional der zum Poliren erforderlichen Zeit (Behrens[4]).

b) Härte umgekehrt proportional dem Volumverlust (Rosiwal[5]).

c) Härte umgekehrt proportional dem relativen Verluste von zweierlei, gleichzeitig geschliffenen Substanzen (Jannettaz und Goldberg[6]).

Pressungsmethoden:

Pressen mit einer Linse auf eine Platte derselben Substanz:

a) Härte proportional dem Grenzwerthe des Druckes für die Einheit der Oberfläche (Hertz[7]).

b) Härte proportional demselben Werthe multiplicirt mit der Kubikwurzel des Krümmungsradius (Auerbach[8]).

Eine Spitze wird in die Oberfläche gepresst:

a) Härte proportional dem Gewicht, welches nothwendig ist, um eine bestimmte Tiefe zu erreichen (Calvert und Johnson[9]), Bottone[10]).

b) Härte umgekehrt porportional dem Volumen des Eindruckes (U. S. Ordnance Tests[11]).

Die vorliegende Tabelle zeigt eine grosse Verschiedenheit in den Methoden, welche den von einer Substanz einer dauernden Deformation entgegengesetzten Widerstand messen sollen: sie alle sind unter vier Processe zu bringen, welche als Maass einer solchen Deformation benutzt werden, nämlich:

---

1) Proc. Phil. Soc. Birmingham 1886, **5**.

2) Sitzungsber. d. k. b. Akad. d. Wiss. München 1883, 55, 372; ref. diese Zeitschr. 1885, **10**, 528.

3) Sitzungsber. d. phys.-med. Soc. Erlangen, Juli 1883. Sitzungsber. d. math.-phys. Kl. d. k. b. Akad. d. Wiss. München 1884, 255; ref. diese Zeitschr. 1885, **10**, 531.

4) Anleitung z. mikrochem. Analyse 1895.

5) Verhandl. d. k. k. geol. Reichsanst. 1896, **17**, 475.

6) Assoc. franç. p. l'avanc. d. sc. 9. Aug. 1895; ref. diese Zeitschr. 1897, **28**, 103.

7) Verhandl. d. Berl. phys. Gesellsch. 1882, 67. Ges. Werke **1**, 174.

8) Wied. Ann. 1891, **43**, 61—100; 1892, **45**, 277—291; 1896, **58**, 357. Ref. diese Zeitschr. **22**, 170; **23**, 619.

9) Phil. Mag. **17**, 114.

10) Chem. News 1873, **27**.

11) Report of experiments on metal for cannon U. S. Ordnance Dep. 1856.

1) Abnutzung,
2) Durchdringung,
3) Reibung,
4) Bruch.

Von den achtzehn erwähnten Autoren benutzten dreizehn die Abnutzung, als Parallelmethode (aber als unzulänglich erkannte) gebrauchten zwei derselben Reibung. Alle waren Mineralogen, mit Ausnahme Turner's, eines praktischen Metallurgen. Die fünf Autoren, welche stetigen Druck zur Härtebestimmung wählten (Durchdringung und Bruch), waren Physiker und Metallurgen, und in allen fünf Fällen wurden Einwendungen erhoben gegen die erhaltenen Resultate, welche auf dem Zusammenwirken von Festigkeit und Plasticität beruhten. Dana hat die folgende kurze, allgemein von den Mineralogen angenommene Definition aufgestellt: »Härte ist der Widerstand einer ebenen Fläche gegen Abnutzung«.

Für praktische Zwecke hat es sich gezeigt, dass, wenn weichere Substanzen von sehr harten abgenutzt werden, unter sonst gleichen Bedingungen der Betrag der Abnutzung eine Aenderung mit der Härte der abgenutzten Substanz erleidet. Um relative Werthe für einen empirisch gewählten Abnutzer zu erhalten, kann man natürlich eine einzige der zahlreichen Bedingungen bei dem Processe als variabel betrachten, vorausgesetzt, dass alle anderen Bedingungen unverändert bleiben. Was gesucht wird, ist also ein absolut bestimmtes abnutzendes Agens, eine Methode, bei welcher eine Bedingung, veränderlich mit dem Widerstande gegen Abnutzung, als variabel gewählt, und bei welcher die übrigen absolut constant erhalten werden. Die erhaltenen Werthe werden von der Härte der Abnutzers abhängen: dieser Punkt scheint oft übersehen worden zu sein. In Lehrbüchern[1]) wurde darauf aufmerksam gemacht, dass die Resultate der Härtebestimmung die Differenzen zwischen der Härte der niederen Glieder der Mohs'schen Scala viel kleiner als zwischen den härteren Gliedern erscheinen lassen. Hier sind, wie Tschermak sagt, die Differenzen enorm, wie man aus der Länge der Zeit, welche zum Poliren härterer Edelsteine nöthig ist, ersehen kann u. s. w. Doch muss daran erinnert werden, dass, wenn der Diamant Quarz ritzt, dies eine Gegenwirkung darstellt, die Erscheinung des Ritzens eine relative ist. Wenn genügend Kraft aufgewendet wird, kann der Diamant ebenso merklich abgenutzt werden wie der Quarz. Auf Grund der Definition, dass Härte der Widerstand gegen Abnutzung durch den Diamanten ist, wäre der Diamant fast unendlich härter; wenn wir aber die Härte als molekulare oder intramolekulare Festigkeit ansehen, müssen wir ein Mittel haben, diese Festigkeit in absoluten Maassen der verbrauchten Energie zu messen, bevor wir über

1) Tschermak, Lehrb. d. Mineralogie, S. 139.

die wahren Differenzen zwischen den verschiedenen Substanzen urtheilen können.

Die Härte einer Substanz, ausgedrückt als Widerstand gegen Ritzen, ist im Falle feinkörniger Aggregate abhängig von der Feinheit der Partikel, die festere oder losere Structur und die Festigkeit des Bindemittels. Wenn ein solches Aggregat, z. B. Kreide, mit einem Werkzeuge geritzt wird, überwinden wir die Festigkeit der Partikel und erzeugen einen Ritz; wäre die Substanz ein Aggregat von Diamantpartikelchen, so würde dennoch ein Ritz erzeugt werden. Wenn die Partikel so fest verbunden sind, dass das Werkzeug ihre Tenacität nicht überwinden kann, so wird ein Ritz nicht erzeugt auf Grund einer Trennung der einzelnen Partikel; dann wird bekanntlich das weiche Carbonat sich ritzen lassen, während der harte Kohlenstoff Widerstand leistet. Der erstere Fall war mechanische, der zweite intramolekulare Structur. Ferner, wenn eine amorphe Kohlenmasse von geringem specifischen Gewicht in einem Schmelztiegel erhitzt wird, werden krystallinische Graphitnadeln gebildet von etwas höherem specifischen Gewicht und grösserer Härte; in einem Cylinder geschmolzenen Eisens, das sich beim Erstarren plötzlich ausdehnt und so die Einschlüsse einem grossen Atomdrucke aussetzt, wird die Kohle, wie Moissan[1]) gezeigt hat, in Form von Carbonado und Diamant von sehr hohem specifischen Gewicht und grosser Härte krystallisirt. In diesem Falle ist die Substanz durchaus ein einziges Element, ihre Atome haben ihr constantes Gewicht behalten, aber die Moleküle haben unter Druck allmählich an Gewicht zugenommen, und folglich hat sich die Zahl der Atome im Molekül mit der Härte vermehrt. Dies stimmt mit den Bestimmungen Bottone's[2]) überein, wonach die Härte der Metalle sich ändert mit dem specifischen Gewicht dividirt durch das Atomgewicht. Dieser Quotient ändert sich, wie Turner[3]) gezeigt hat, direct mit der Anzahl der Atome im gleichen Raume.

Atomstructur im Element, Atom- und Molekularstructur in krystallisirten Verbindungen, Atom-, Molekular- und mikroskopische Structur in amorphen oder kryptokrystallinischen Substanzen, Atom-, Molekular- (submikroskopische) und mechanische Structur in krystallinischen oder aus Bruchstücken bestehenden Aggregaten: alles dies beeinflusst die Härte, wie sie durch physikalische Abnutzungsuntersuchungen gemessen wird. Daher ist es für vergleichende Resultate von wissenschaftlichem Werthe wichtig, dass ausgebildete Krystalle oder vollkommen amorphe Substanzen gewählt werden. Befolgt man das, so wird eine genau durchgeführte Untersuchung mittelst Abnutzung sehr werthvolle Daten über die innere Structur fester Körper liefern. Exner[4]) hat sehr interessante Beziehungen zwischen

---

1) Comptes rendus 1894 u. 1895. Ref. diese Zeitschr. **25**, 302; **26**, 107.
2) l. c. 3) l. c. 4) l. c.

den Richtungen des Widerstandes gegen Abnutzung und der Krystallform gefunden; Pfaff[1]) hat ein grosses Forschungsgebiet in seinen Untersuchungen über die mittlere Aenderung der Härte bei Mineralien isomorpher Reihen und die Beziehungen der Cohäsionsconstanten zu den anderen physikalischen Eigenschaften nur berührt. Und endlich liegt kein Grund vor, warum eine vollständig ausgearbeitete Methode als eine Hülfe zur Unterscheidung und Bestimmung krystallisirter Mineralien nicht sehr constante Resultate liefern sollte.

Frühere Instrumente haben drei Hauptfehlerquellen: 1) Individuelle Veränderlichkeit, davon herrührend, dass »Sichtbarkeit« zur Bestimmung benutzt wurde; 2) Unebenheit der Mineralflächen; 3) unbestimmte Eigenschaften des Instrumentes. Um 1) zu eliminiren, muss die Tiefe der Abrasion bestimmt und messbar sein, um 2) zu eliminiren, muss die Oberfläche künstlich hergestellt und von bestimmter Orientirung sein, und die Bohrmethode, bei der anfangs nur ein sehr kleiner Theil der Fläche berührt wird, benutzt werden, wobei sie gleichzeitig einen mittleren Werth für alle Richtungen auf der Fläche giebt. Um 3) zu eliminiren, muss jeder Theil des Apparates, der Abnutzer mit eingeschlossen, genau gearbeitet sein, und für vergleichende Bestimmungen eine empirische Einheit angenommen werden.

Das Mikrosklerometer.

Der Verf. beabsichtigt in vorliegender Abhandlung ein Instrument zu beschreiben, welches so genau gearbeitet ist, dass es frühere Fehlerquellen ausschliesst. Die Aufgabe desselben ist, den Widerstand zu messen, welchen ein Körper einer bestimmten Diamantspitze entgegensetzt, die sich unter gleichbleibenden Bedingungen in Berührung mit ihm bewegt und Theilchen seiner Substanz wegnimmt. Das Instrument ist mit dem Mikroskop verbunden, so dass es jeden Dünnschliff oder jede Krystallfläche zu benutzen gestattet. Nach meiner Ansicht ist daher die beschriebene Methode eventuell auch von Werth für Bestimmungen von Mineralien in Gesteinen. Die Einrichtung des Instrumentes ist eine solche, dass eines der veränderbaren Elemente bei dem Process der Abnutzung variabel gemacht werden kann, während die anderen constant bleiben; aber die beste Methode ist die von Pfaff beschriebene Bohrmethode, wobei die Anzahl der Drehungen der bohrenden Spitze ein Maass für die Härte der Substanz in Bezug auf die abnutzende Spitze liefert.

Taf. IV zeigt das Instrument verbunden mit dem grossen Fuess'schen Mikroskop Nr. 1 in ungef. $\frac{1}{2}$ nat. Grösse. Taf. V, Fig. 1 zeigt die horizontale Projection von oben gesehen, Fig. 2 den verticalen Aufriss in ungef. $\frac{2}{3}$ nat. Grösse. Das Princip des Instrumentes ist folgendes: Eine Diamantspitze

1) Sitzungsber. d. bayer. Akad. 1884, 255. Ref. in dieser Zeitschr. **10**, 531.

von constanten Dimensionen rotirt auf einer orientirten Mineralplatte mit gleichmässiger Schnelligkeit und unter gleichbleibendem Gewicht bis zu einer gleichmässigen Tiefe. Die Zahl der Umdrehungen der Spitze, ein Maass für die Dauer der Abnutzung, variirt mit dem Widerstande des Minerals gegen Abnutzung durch den Diamanten: dies ist die gemessene Eigenschaft. Das Instrument besteht aus folgenden Theilen:

1) Ein Gestell und eine Einrichtung zur Verbindung mit dem Mikroskop.
   a) Fussgestell,
   b) Drehvorrichtung,
   c) Hebevorrichtung,
   d) Fixirvorrichtung.
2) Ein Tragbalken und sein Joch.
3) Ein rotirender Diamant an dessen Ende.
4) Vorrichtung zum gleichförmigen Drehen.
5) - - Ablesen des Betrages der Drehungen.
6) - - Hemmen und Lösen.
7) - - Ablesen der Tiefe.

Das beschriebene Instrument gestattet eine Messung mit Hülfe einer der vier Variabeln, Geschwindigkeit, Gewicht, Tiefe oder Dauer. Letztere hat sich als die praktischste erwiesen, weil sie die höchsten Werthe liefert und daher die genaueste Abstufung zulässt.

Das Fussgestell.

Das Joch y wird von einer Messingsäule getragen, welche in einer sie umgebenden Röhre gleitet, und kann durch eine Schraube an der Seite gehoben und gesenkt werden. Der Fussblock F passt an die linke Zinke des gabeligen Mikroskopfusses. Eine Stellschraube lässt ihn eine Strecke weit verschieben, während ihn eine zweite Klemmschraube feststellen lässt. Die äussere Röhre dreht sich mit allen von ihr getragenen Apparatentheilen auf der Oberfläche des Fussblockes F, und diese Drehung kann durch eine getheilte Trommel und Schraube R, welche gegen einen Vorsprung o der Fussplatte f der äusseren Röhre drückt, feingestellt werden. Die verticale Drehungsaxe, welche durch F geht, kann mit der Schraube t_1 geklemmt werden. Ein V-förmiger Vorsprung an der Fussplatte f hält das Lager, in welchem die aufrechte Hauptwelle q läuft. Die kleinere Scheibe am unteren Ende der Welle wird durch eine Transmission mit der Bewegungsvorrichtung verbunden, die auf Taf. IV durch eine Kurbelscheibe für Handbetrieb dargestellt ist. Bei den letzten Versuchen des Verfs. wurde ein Uhrwerkmotor benutzt.

Der Tragbalken.

Der in a verzapfte Balken b ist durch ein mit Schraube c verstellbares Gewicht balancirt. Der Balken besteht aus einem verticalen Messingrahmen,

welcher die Bestimmung hat, die Transmission zum Drehen des Diamanten aufzunehmen. Der Zeigerarm trägt an seinem unteren Ende ein verstellbares pendelartiges Gegengewicht, um dem Einflusse des auf dem Balken befindlichen Spitzenträgers das Gleichgewicht zu halten. Dieser Arm geht durch einen Ausschnitt in der unteren Jochplatte y.

Der Diamant.

Der benutzte Diamant ist ein tetraëdrisches Spaltstück mit einer vollkommenen Spitze. Es können mit Hülfe des zum Spalten dienenden Instrumentes, welches zum Herstellen von Diamantschneiden und -spitzen benutzt wird, ein Paar tetraëdrischer Spaltstücke in grosser Vollkommenheit erhalten werden. Das Tetraëder verdient den Vorzug wegen seiner reinen Ecken. Da jedes Tetraëder vier Ecken hat, ist es nicht schwer, unter einer relativ kleinen Menge von Stücken eine Ecke mit vollkommener Ausbildung zu finden. Die Ecken wurden im Gesichtsfelde des Mikroskops bei starker Vergrösserung (Nr. 7) langsam gedreht, bis eine gefunden wurde, deren drei Kanten auch im schärfsten Brennpunkte des Instrumentes tadellos zusammenliefen. Der ausgewählte Diamant wird durch Einlöthen in die Mitte seiner Messingfassung zuerst roh centrirt, und dann das Messing in einer Juwelierdrehbank mit der Diamantspitze als Centrum abgedreht. Der so gefasste Diamant D wird von drei radialen Centrirungsschrauben in einer Führung festgehalten. Diese Führung ist mit einer verticalen Stahlspindel verbunden, welche durch die Scheibe p_2 und ihr Getriebe geht und deren von einem Edelstein gebildetes Ende gegen eine glatte Diamantplatte am oberen Theile des Balkens drückt gerade mitten unter dem Verbindungsstege der zwei Gewichtsschalen w. Die Schalen sind getrennt und zwei Gewichte verwendet, um für das Mikroskop-Objectiv Raum zu liefern, welches zur Benutzung nahe auf die Mikrometerscala m eingestellt wird. Der von den beiden Kanten jeder Fläche des Diamanten an der Ecke gebildete ebene Winkel wurde durch Einstellen des Focus auf das Kugelgelenk einer vom Verf. beschriebenen Vorrichtung [1]), gefolgt von einer Drehung, nachdem die Spitze in das Fadenkreuz centrirt war, gemessen: die Winkel der drei Flächen ergaben 62°, woraus folgt, dass keine der drei Flächen ein vollkommenes gleichseitiges Dreieck ist, sondern jede eine geringe Einbiegung oder Rundung besitzt.

Drehvorrichtung.

Am oberen Ende der Welle ist eine grössere Scheibe P angebracht; die Welle kann mit dem Reste des Apparates in dem unteren Arme frei gehoben oder gesenkt werden. Die Scheibe p_2 an der Diamantspindel ist durch ein feines Seidenband ohne Ende mit P verbunden; das gespannte

---

1) Americ. Journ. Sc. 1897, **3**, 129.

Band wird durch das Eingreifen zweier Scheiben p_3 und p_4, welche innerhalb des Balkens genau in der Axe des Zapfenlagers sich drehen und gerade so weit von einander abstehen, als der Durchmesser von p_2 beträgt, verhindert, den Tragbalken zu stören. Das von aussen her gespannte Band ist also an den Tragbalken in seiner Drehungsaxe angepasst, und hat so allein den Effect, zur Empfindlichkeit des Balkens beizutragen, da es einen Theil des Gewichtes wegnimmt, welches sonst ganz auf dem Zapfenlager liegen würde. Eine Torsionsspannung ist durch den Parallelismus der beiden Theile des Bandes zwischen p_3 und p_2 und p_4 und p_2 verhindert.

Vorrichtung zum Ablesen des Betrages der Umdrehungen.

Die Drehung der Diamantspindel wurde durch zwei Getriebe und zwei Räderübersetzungen von gewöhnlichen Uhrmodellen auf $\frac{1}{60}$ reducirt. Ueber dem zweiten Rade ist ein in 60tel getheiltes Zifferblatt. Die Spindel dieses Rades geht durch eine Oeffnung in einem Messingzifferblatte i, welches wie ein Zeiger wirkt; im Inneren drückt eine Stahlfeder z an die Spindel und trägt dieselbe durch ihre Reibung. Der Aussenrand dieser Platte ist mit einem gezähnten Kranze versehen, gegen den die vorderste Biegung der Springfeder l drückt. Wenn l angepresst wird, schaltet sie die gezähnte Kante ein und die Spindel dreht sich im Ausschnitte, ohne dass das Zifferblatt i rotirt; wird l nachgelassen, so ist die Spannung der Feder z an der Spindel genügend, i rotiren zu lassen, und jeder Theilstrich des Zifferblattes entspricht einer vollen Umdrehung des Diamanten. Ein getheiltes Zahnrad i_1 wird jedesmal nach einer ganzen Umdrehung von i durch den Zeiger an letzterem in Drehung versetzt. Es registrirt so fünfzehnmal sechzig Drehungen, was im Ganzen neunhundert Umdrehungen des Diamanten ohne neue Ablesung ermöglicht.

Vorrichtung zum Hemmen und Lösen.

Die Hemmvorrichtung wirkt auf den Tragbalken und die Registrirapparate gleichzeitig. Eine halbe Umdrehung von L presst eine excentrische Scheibe e auf die Stange b_1 oberhalb des Gegengewichtes, drückt gleichzeitig die Springfeder l nach unten und hemmt so die Registrirscheibe i. Die Hemmvorrichtung lässt sich durch die Stellschrauben k reguliren, welche die Drehung von L durch ein an den Schaft von L angebrachtes hemmendes Winkelstück begrenzen.

Vorrichtung zum Messen der Tiefe.

Am Ende des Balkens ist an der Oberseite horizontal ein Ring befestigt, der in der Symmetrieaxe des Balkens geneigt werden kann. In diesen passt eine Kreisplatte m, die ein durchsichtiges Zeiss'sches Glasmikrometer (5 mm getheilt in 100 Theile) trägt. Die Platte m ist im Ringe drehbar, so dass die Mikrometerscala in ein beliebiges Azimuth gedreht werden kann. Diese

Einrichtung ist so angeordnet, dass die Mikrometerscala im Mikroskope an diesem Punkte genau 10 mm von der Drehungsaxe der Diamantspitze entfernt sichtbar ist; dies ist ein Sechstel der Entfernung der Diamantspitze von dem Balkenlager *a*, weshalb ein Senken der Diamantspitze am Mikrometer um ein Sechstel vergrössert wird. Wenn daher das Mikroskop auf das Mikrometer eingestellt ist, wird vor und nach der Bohrung mit dem Diamanten die so durch die Feinstellschraube des Mikroskops gemessene Tiefe $\frac{7}{6}$ der wirklich gebohrten Tiefe sein. Wenn nun *m* gedreht wird, bis die Mikrometerscala in rechtem Winkel zum Balken steht, und dann leicht gekippt wird, kann eine Neigung gefunden werden, bei der unter starker Vergrösserung nur eine einzige Linie der Mikrometerscala augenblicklich im Brennpunkte ist und bei der es nöthig ist, den Brennpunkt des Instrumentes genau um 0,01 mm oder 10 μ (Mikromillimeter) tiefer zu verlegen, um die nächstniedere Linie scharf einzustellen. Umgekehrt, wenn wir auf die tiefere Linie einstellen und den Diamanten seinen Weg 10 μ tief bohren lassen, wird die nächsthöhere Linie der Mikrometerscala erst dann scharf in den Brennpunkt kommen, wenn diese Tiefe erreicht ist. Wir haben also hierin ein ausserordentlich empfindliches Mittel, die Tiefe zu messen.

Benutzung des Apparates.

Zuerst ist das Gestell am Fusse des Mikroskopes zu befestigen, so dass der Diamant genau 10 mm von der Mitte des Schlittenapparates (Fadenkreuz) entfernt ist, was sich an der Bewegung der Mikrometerscala des Schlittenapparates ablesen lässt. Das Präparat wird in den Spangen des Schlittens befestigt. Der Balken ist vollkommen im Gleichgewichte und arretirt; die Scalen von i, i_1 und R sind abgelesen. Gleiche Gewichte liegen auf jeder der Schalen. Das Mineral ist für das Fadenkreuz im Mikroskop centrirt, und ein Theil der Oberfläche des Minerals ist für die Untersuchung mit schwacher Vergrösserung (Nr. 2) bestimmt, deren grosse Brennweite das Objectiv vor einer Verletzung von *m* verhindert. Durch die Schlittenbewegung wird das Mineral 10 mm verschoben, worauf es sich genau unter dem Diamanten befindet. Letzterer wird auf die Mineralfläche gesenkt, bis eine Bewegung des Zeigers die leichte Berührung wahrnehmen lässt; es ist genau auf die Berührung der Spitze einzustellen, oder höchstens etwas darüber. Die Arretirschraube *L* wird nachgelassen, so dass der Diamant thatsächlich auf dem Mineral ruht, und die Mikrometerscala *m* wird mittelst des Objectivs Nr. 7 des Mikroskopes so eingestellt, dass der niederere von zwei Theilstrichen dem Mittelpunkte des Gesichtsfeldes näher im Brennpunkte liegt mit der auf 10 μ eingerichteten Neigung gegen die Scalentheilung. Ocular Nr. 3 ist am wirksamsten, da es eine grosse sphärische Aberration liefert, welche nur eine Linie jedesmal scharf in den Brennpunkt zu bringen gestattet. *L* wird arretirt und die Drehung geht mittelst des Uhrwerkes in gleichmässiger

Schnelligkeit vor sich; wird L gelöst, so beginnt der Diamant zu bohren. Die Gleichförmigkeit der Bewegung lässt sich an der Zeigerbewegung von i erkennen; Achtung ist auf die Anfangsstellung von i_1 zu geben, und jedesmal die Zeit, in welcher es eine volle Umdrehung macht, zu notiren. Auf die Einstellung des Mikrometers im Mikroskop muss sorgfältig aufgepasst werden und, wenn der obere Theilstrich scharf erscheint, die Schraube angezogen und dann das Uhrwerk abgestellt werden. In dieser Weise wird der Diamant mit gleicher Schnelligkeit beim Beginne und beim Einstellen des Bohrens bewegt. i und i_1 geben nun die Härte durch die Anzahl der Umdrehungen des Diamanten an.

Nebenbestandtheile des Apparates sind: Eine Nivellirtafel von trockenem Mahagoniholz für das Mikroskop mit einer eingelassenen Weingeistwage und drei Nivellirschrauben, sowie das Uhrwerk, das mit der Nivellirtafel durch einen Schieber zur Regulirung der Transmissionsspannung verbunden ist.

Die vor der Ausführung des Versuches nöthigen Arbeiten sind:

Nivelliren der Tafel,
Spannen des Bandes,
Einstellen der Zapfen auf dem Balken,
Einstellen der Arretirschraube,
    -   - Fussschraube,
    -   des Gegengewichtes,
    -   der Neigung des Mikrometers,
Centriren des Diamanten.

Der Diamant wird centrirt, indem man den Apparat umgekehrt in einem Schraubstocke festhält, so dass der Diamant im Gesichtsfelde des Mikroskopes sich dreht. Mit einem Juwelirschraubenzieher können die drei radialen Schrauben des Halters so gerichtet werden, dass die äusserste Spitze des Diamanten sich im Fadenkreuze des Oculars ohne Excentricität dreht; wenn es jedoch wünschenswerth ist, dass die Diamantspitze sich in einer Kreisbahn bewegt, und so eine ringförmige Vertiefung beschreibt, kann er auch so gestellt werden.

Calibrirung und Messung.

Das Instrument wird durch die Prüfung, ob jedes Element, nämlich Tiefe, Bewegung, Diamantspitze und Gewicht, constant sei, calibrirt. Versuche mit verschiedenen Gewichten ergaben, dass die Leistung des Diamanten eine langsame ist und überdies ein sehr starkes Anwachsen des Widerstandes mit grösserer Tiefe eintritt. Ein Gewicht von 10 g und eine Schnelligkeit von zehn Umdrehungen in der Secunde ergaben für ein gewöhnliches Deckglas den Werth von etwa 3000 Umdrehungen bis zu einer Tiefe von 0,01 mm. Daher verlangte der Versuch ungefähr fünf Minuten.

Die Zunahme des Widerstandes hängt mit der Zunahme der Abnutzungsfläche zusammen. Die Constanz dieser Zunahme für verschiedene Diamantspitzen ist untersucht worden. Eine künftige Publication wird die Calibrirung des Instrumentes im Einzelnen beschreiben; in vorliegender wollen wir nur eine vorläufige Reihe von Versuchen mit den Mineralien der Mohs-schen Scala beschreiben, um den Werth der Methode zu zeigen.

Die Mohs'sche Scala; Sklerometerwerthe.

Zu diesen Untersuchungen wurde die Diamantspitze etwas excentrisch gemacht, damit sie eine vollständige ringförmige Grube ausbohren konnte und so die bei Pfaff's Experimenten bemerkte Verstopfung des Bohrloches umgehe. Die Mikrometerscala *m* wurde parallel zum einen Faden des Fadenkreuzes in die 45°-Stellung vom unteren linken zum oberen rechten Quadranten gebracht, und ihre Neigung so bemessen, dass die zwei dem Centrum des Fadenkreuzes zunächst liegenden Theilstriche einer Differenz der Focallänge von 10 μ entsprechen mussten. Es ist nöthig, dass diese Focalmessungen immer im gleichen Theile des Gesichtsfeldes gemacht werden, da durch die Aberration in verschiedenen Theilen beträchtliche Aenderungen sich ergeben. Es ist auch nothwendig, ein gleichmässiges Kriterium für die Schärfe der Einstellung anzunehmen; dem Verf. ermöglichte eine feinkörnige Structur im Mikrometerglase neben jedem Theilstriche eine sehr scharfe Einstellung, die bis zu einem Bruchtheil des Werthes 0,001 oder 1 μ genau war. Die für diese Reihe von Versuchen benutzte Schnelligkeit betrug 6—7 Umdrehungen des Diamanten in der Secunde, regulirt durch die Vorrichtung am Uhrwerke und die Spannung der Bänder; sie wurde zu verschiedenen Zeiten durch die ganze Reihe der Versuche geprüft, und die Beträge als sehr gleichmässig gefunden. Das Uhrwerk wurde zu Beginn jedes Versuches vollkommen aufgezogen und bei den härteren Mineralien nach je zehn Minuten, während welcher Zeit, wie es sich ergab, die Feder des Uhrwerkes eine gleichmässige Schnelligkeit ohne merkbare Aenderung beibehielt. Das benutzte Gewicht betrug 10 g, was sich für weiche Mineralien als zu hoch und für sehr harte als zu niedrig ergab und die Verwendung von zweierlei Sätzen gerathen erscheinen liess, die dann auf einen gemeinsamen, wie bei Pfaff's Versuchen, zurückzuführen wären. Das constante Gewicht wurde bei den folgenden Versuchen dennoch beibehalten, nur um die Brauchbarkeit des Instrumentes zu zeigen, und es ist kein grosser Werth auf diese vorläufigen Resultate zu legen. Viele Ungenauigkeiten werden in den erhaltenen Resultaten zu entdecken sein, besonders bei den weicheren Mineralien, deren Werthe in jedem Falle das Mittel aus drei Beobachtungen sind, welche beträchtliche Verschiedenheit für dasselbe Mineral zeigen, herrührend von Ungleichheit in der Oberflächenbeschaffenheit und durch zu grosses Gewicht und ungleichen Wider-

stand erzeugte Unregelmässigkeit bei der Drehung, was jedesmal bemerkt werden wird. Die Registrirapparate i und i_1 wurden vor jedem Versuche abgelesen und die Zahl der vollen Umdrehungen von i_1 während des Experimentes notirt. Ein Vorversuch mit weichem Glas ergab für die Grösse der Excentricität der Diamantspitze 0,08 mm und zeigte die Feilspähne meist reichlich auf der Aussenseite des Ringes angehäuft und eine kleinere Erhöhung an der Innenseite des Furchenrandes.

Gyps. Spaltstück,
Gewicht 10 g.
Tiefe 10 μ.
Schnelligkeit 6,5 Umdrehungen in der Secunde.
Härte (Umdrehungen): 8,3.

Unter obigem Gewichte durchdrang der Diamant den ersten Dünnschliff bis zum Glase augenblicklich; der obige Werth ist ein Mittel der Bohrungen eines dickeren Spaltungsstückes in verschiedene Tiefen, da es ein Ding der Unmöglichkeit war, das Bohren genau bei 10 μ Tiefe einzustellen, so stark war die Oscillation der Scala m im Gesichtsfelde des Mikroskopes. Dies hatte seinen Grund in der Excentricität des Diamanten, da die Spitze zu rasch eindrang und ungleiche Widerstände in den verschiedenen Spaltrichtungen antraf. Diese Schwierigkeit war bei den härteren Mineralien weniger bemerkbar.

Calcit. Spaltfläche.
Härte: 50.

Bei Gyps und Calcit war die Furche beide Male etwas elliptisch statt kreisrund. Das hat seinen Grund in den verschiedenen Werthen der Cohäsion für verschiedene Spaltungsrichtungen, wie Exner ermittelt hat. Die anfänglichen Aenderungen im Widerstande drängen den Diamanten aus seiner normalen Kreisbahn. Drei Versuche an derselben Calcitfläche ergaben, dass diese elliptischen Furchen gleichmässig orientirt sind in Beziehung auf die Spaltrisse, dass die Hauptaxe der Ellipse eine schiefe Stellung zwischen der langen und der kurzen Diagonale der Rhombenfläche einnimmt. Dies stimmt mit der von Franz zuerst beobachteten Thatsache, dass in dem Azimuth der kurzen Diagonale die beiden entgegengesetzten Richtungen einem Maximum und einem Minimum der Härte entsprechen.

Flussspath. Oktaëdrisches Spaltstück.
Härte: 143.

Die Tiefe wurde durch directe Focalmessungen in einer Reihe von Beobachtungen am Fluorit gemessen und ergab eine Uebereinstimmung bis auf 0,5 μ mit der Ablesung am Mikrometer m. Eine Furche hatte eine halbelliptische Form mit einer leichten Abplattung an einer Seite. Eine Reihe von Beobachtungen zur Bestimmung des Anwachsens des Widerstandes mit zunehmender Tiefe ergab folgende Werthe:

Tiefe in μ.	Umdrehungen:	Umdreh. für je 5 μ.
10	148	74
15	273	125
20	459	186
25	666	207

Apatit. Basis.
Härte: 233.

Der Werth ist durch die Oberflächentextur sehr beeinflusst. Die Feilspähne haben eine sehr mehlige Beschaffenheit und scheinen durch ihre Schlüpfrigkeit die Arbeit des Abnutzers zu beeinflussen; wenn die Abnutzung in der Secunde 10 μ tief fortgesetzt wurde, wuchs der Widerstand enorm. Die Furche war elliptisch, mit der längeren Axe parallel der nächsten anstossenden Prismenfläche.

Orthoklas. *P*-Spaltstück.
Härte: 4665.

Der Vorgang der Bohrung war sehr gleichmässig mit übereinstimmenden Resultaten bei allen Versuchen. Die Grube war beinahe ringförmig. Die Oscillation war so gering, dass die Scharfstellung des Mikrometers während der Umdrehungen beobachtet werden konnte. Es wurde rathsamer gefunden, die Umdrehung mit dem Uhrwerke als mit der Arretirschraube zu hemmen gelegentlich der genauen Beobachtung der Brennweite, da der Diamant dann nicht aus der Grube gehoben wurde, sondern genau in der erreichten Tiefe blieb.

Quarz. Basisfläche.
Härte: 7648.

Es fand gar keine Vibration statt, die Resultate waren sehr constant.

Topas. Basis.
Härte: 28867.

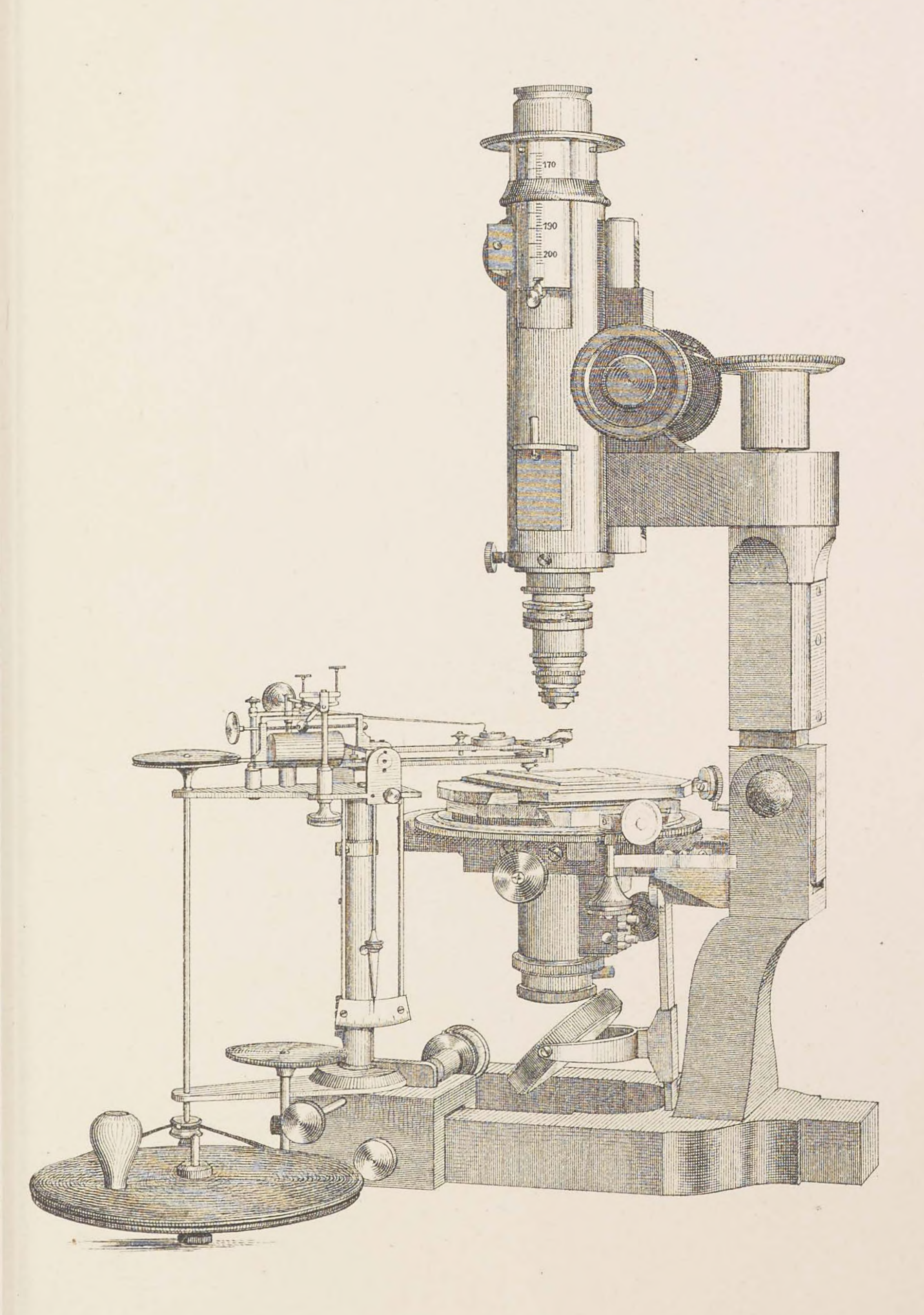
Korund. Rhomboëdrische Spaltfläche.
Härte: 188808.

Mit so geringem Gewicht dauerte dieser Versuch mit Korund fast neun Stunden. Daher ist es rathsam, bei härteren Mineralien grösseres Gewicht anzuwenden; fast alle Mineralien von petrographischem Interesse sind ebenso zu behandeln.

Führt man die vorhergehenden Werthe auf die Normalhärte von Rosiwal, der Korund gleich 1000 setzt, zurück, so erhält man die folgenden Resultate. Die Werthe Rosiwal's und Pfaff's sind zur Vergleichung daneben gesetzt.

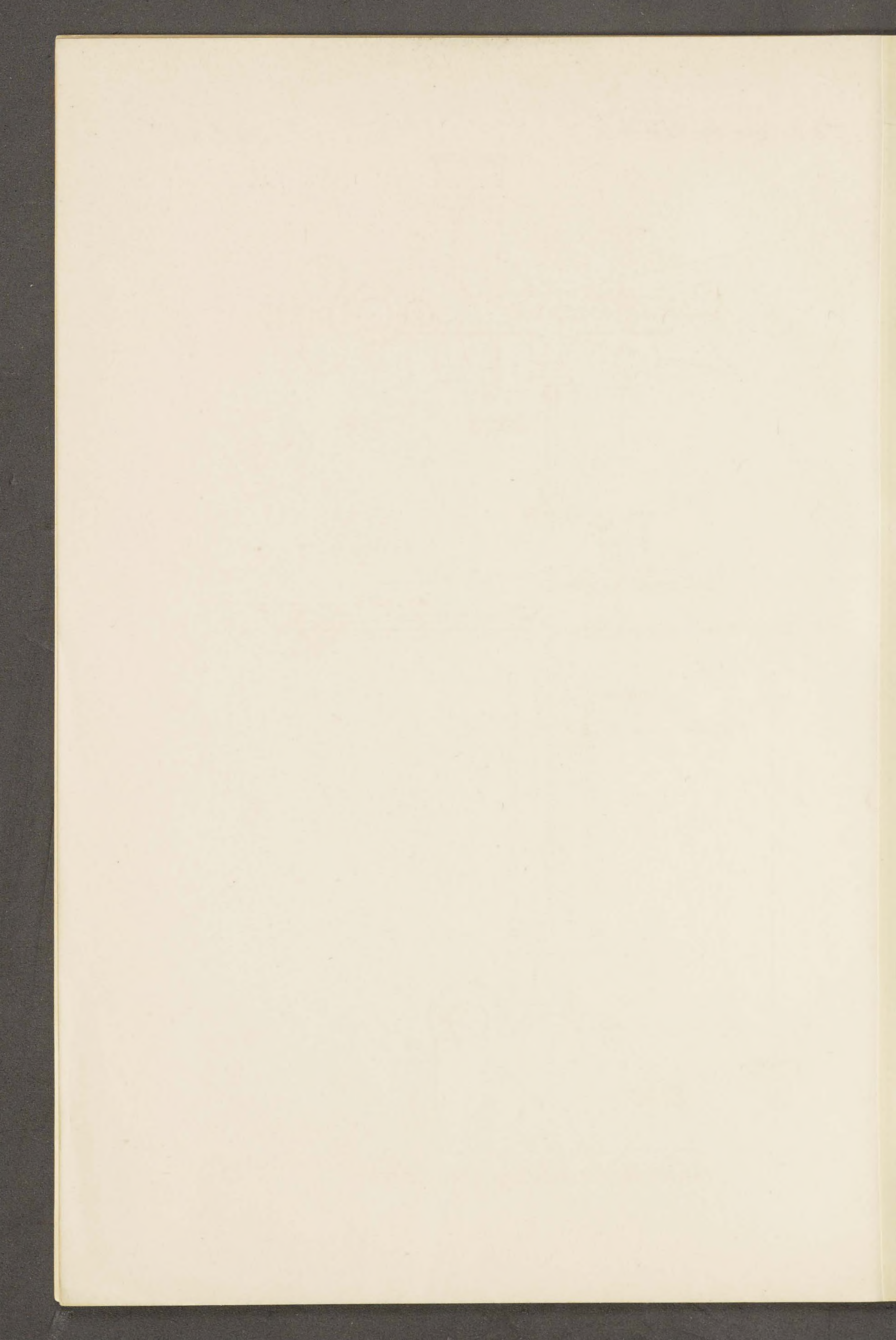
	Pfaff 1884	Rosiwal 1892	Jaggar 1897
9. Korund	1000	1000	1000
8. Topas	459	138	152
7. Quarz	254	149	40
6. Orthoklas	191	28,7	25
5. Apatit	53,5	6,20	1,23
4. Fluorit	37,3	4,70	0,75
3. Calcit	15,3	2,68	0,26
2. Gyps	12,03	0,34	0,04

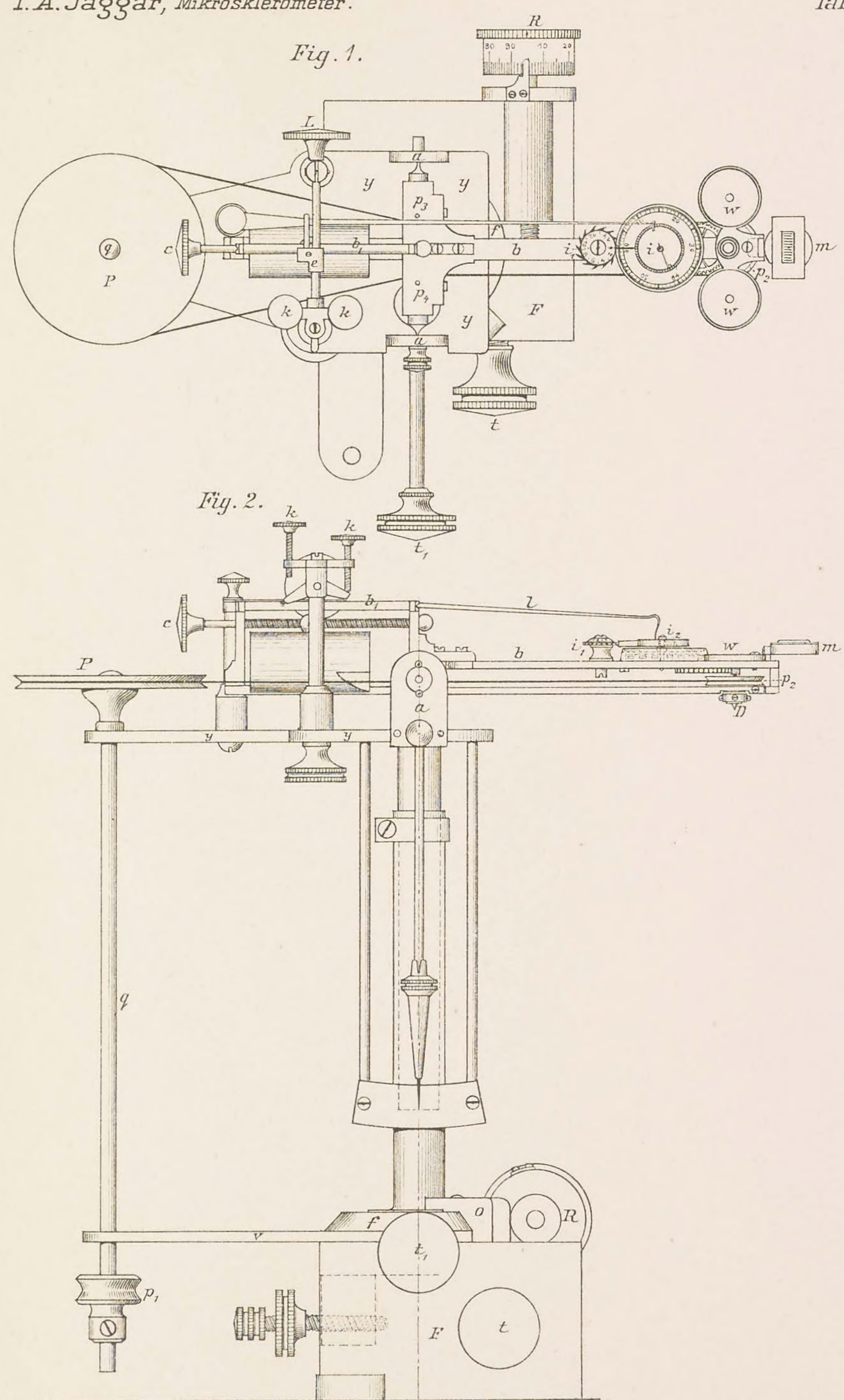
Neben der Bestimmung der Härte kann das Mikrosklerometer auch für sehr genaue Bestimmungen der Dicke von dünnen Mineralplatten verwendet werden. Stellt man den Contact mit der oberen Fläche der dünnen Mineralplatte und dann mit dem Objectglase neben derselben her, so kann man die Dicke für die Methode des Herzogs von Chaulnes zur Bestimmung des Brechungsindex messen. Die Untersuchung lehrte ferner am Hypersthen, dass wir mittelst Durchbohrens eines Minerals von hoher Doppelbrechung bis zum unten liegenden Glase schnell einen Werth für den Betrag der Doppelbrechung oder $\gamma - \alpha$ erhalten. Die conische Vertiefung zeigte nämlich an ihren Rändern die Farbenringe, welche verschiedener Dicke entsprechen. Wenn wir bis zur Tiefe des Roths erster Ordnung bohren, eine Ablesung der Tiefe machen und dann durchbohren bis zum Glase und wieder ablesen, so giebt die Differenz der Tiefen die Dicke des Minerals für Roth erster Ordnung. Führen wir dies an einer Platte in der Ebene der optischen Axen aus, so dass die Axe der mittleren Elasticität $\mathfrak{b}$ in der Polarisationsebene des Mikroskopes liegt, so erhalten wir einen Werth für die Dicke, der bei Benutzung der berechneten Tabellen von Rosenbusch angiebt, wohin das Mineral gehört. Endlich ermöglicht es das Instrument, wenn man die einzelnen Mineralindividuen eines Gesteinsschliffes damit behandelt, vielleicht auch chemische Reactionen direct mit dem Bohrstaube anzustellen.



n. Photogr. gez.

Lith. Hubert Köhler, München.





T. A. Jaggar del.

Lith. Hubert Köhler, München.

